

一般 Theodorsen 関数を用いた橋桁のフラッター解析に関する基礎研究

名古屋工業大学 学生員 戸本直弥 名古屋工業大学 正員 岩本政巳
 東京大学 正員 藤野陽三 名古屋工業大学 正員 長谷部宣男

1 まえがき

橋梁のフラッター解析を行う際には、非定常空気力として、平板翼についての理論解である Theodorsen 関数がしばしば用いられる。Theodorsen 関数は、構造物が調和振動状態にあるという仮定の下で導かれた。しかし、実際の橋桁が常に調和振動状態にあるとは限らない。調和振動を一般的な減衰振動に拡張し、Theodorsen 関数から解析接続によって得られたものが一般 Theodorsen 関数¹⁾である。本研究では、一般 Theodorsen 関数を用いたフラッター解析に関する基礎研究として、一般 Theodorsen 関数の基本特性と非定常空気力及びフラッター解析結果に及ぼす影響について検討を行う。

2 解析方法

桁幅 $2b$ の橋桁が円振動数 ω 、減衰定数 ξ で鉛直たわみ、ねじれの 2 自由度連成振動 (z, θ) をしているとき、風速 U （水平風）によって作用する非定常揚力 L 及び空力モーメント M は次式で表せる。

$$L = \pi \rho b^3 s^2 \left[L_{zR} \frac{z}{b} + L_{zI} \frac{\dot{z}}{bs} + L_{\theta R} \theta + L_{\theta I} \frac{\dot{\theta}}{s} \right]$$

$$M = \pi \rho b^4 s^2 \left[M_{zR} \frac{z}{b} + M_{zI} \frac{\dot{z}}{bs} + M_{\theta R} \theta + M_{\theta I} \frac{\dot{\theta}}{s} \right]$$

ここに、 $s(-\xi\omega + i\omega\sqrt{1-\xi^2})$ はラプラス変換のパラメーターである。非定常空気力係数 $L_{zR}, L_{zI}, L_{\theta R}, L_{\theta I}, M_{zR}, M_{zI}, M_{\theta R}, M_{\theta I}$ は一般 Theodorsen 関数 $C(bs/U)$ で表される関数である。なお、 $\xi = 0$ （調和振動）のときの $C(ib\omega/U)$ が、Theodorsen 関数である。

この非定常空気力を用いて曲げ、ねじれの 2 自由度のフラッター解析を行った。なお、2 自由度振動系においては本来 2 つの振動モードが存在するが、本研究ではフラッターモードであるねじれ卓越モードのみに着目した。また、橋桁断面の構造諸元としては、明石海峡大橋箱桁案（1/150 模型）の値を用いた。ただし、構造減衰は無視した。

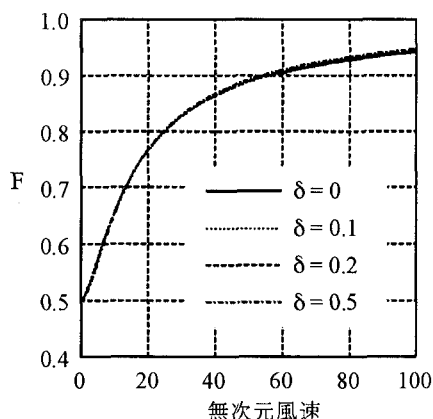


図1 一般Theodorsen関数（実部）

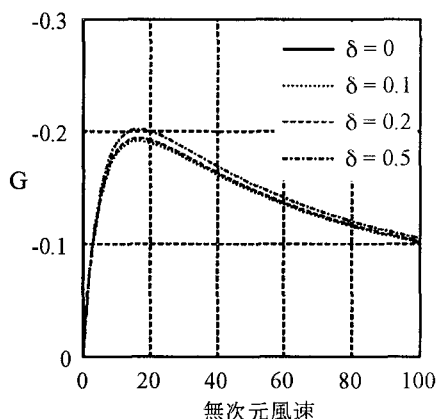


図2 一般Theodorsen関数（虚部）

3 解析結果と考察

図1、2に対数減衰率 $\delta (=2\pi\xi)$ を変化させたときの一般 Theodorsen 関数の実部 F 及び、虚部 G をそれぞれ示す。 F は δ の変化に対してほとんど差はないが、 G には差が生じた。無次元風速 $U/bf = 16$ ($f = \omega/2\pi$)あたりのピーク値で、 $\delta=0.5$ のときは7%程度の差が見られる。このことから、Theodorsen 関数と一般 Theodorsen 関数の差は主に虚数部 G によるものであり、この G の差が非定常空気力やフラッター解析結果に影響を与えらると思われる。

一般 Theodorsen 関数から8つの非定常空気力係数を求め、減衰定数 δ による変化を調べた。その結果、 $L_{zR}, L_{\theta I}, M_{zR}, M_{\theta I}$ に差が見られた。特に $M_{\theta I}$ の変化が大きく、 $\delta=0.5$ のとき無次元風速 $U/bf = 20$ 付近で59%の差がある。 $M_{\theta I}$ のグラフを図3に示す。

図4にフラッター解析結果（風速－減衰率曲線）を示す。空力減衰が上昇するにつれて一般 Theodorsen 関数を用いたときの対数減衰率 δ の値が Theodorsen 関数を用いたときの値を上回り始め、最大で9%程度の差が生じている。この差は、主に $M_{\theta I}$ に起因すると思われる。なぜなら第1に、図3に示したように $M_{\theta I}$ が δ によって比較的大きく変化するためである。第2に、 $M_{\theta I}$ がフラッターモードの主振動成分であるねじれ振動に対する空力減衰を表しており、後述するようにフラッター特性に大きな影響を及ぼすためである。また、フラッター発振風速は Theodorsen 関数、一般 Theodorsen 関数のいずれの場合も同じ値となる。フラッター発生時には調和振動をしているので、Theodorsen 関数と一般 Theodorsen 関数が一致するためである。

フラッターモードの振動数 f については、フラッター発振風速までは Theodorsen 関数、一般 Theodorsen 関数のいずれを用いてもほぼ同じ値を示し、その後差が現れ始めることがわかった。

8つの非定常空気力係数のうちどれがフラッター特性に強く影響するかを調べる感度解析も同時に行った。すなわち、注目する空気力係数に重み係数1.1を乗じてフラッター解析を行った。空気力係数は一般 Theodorsen 関数より求めている。結果（風速－減衰率曲線）を図5に示す。なお、図には重みなしの場合との差が大きかった $L_{\theta R}, M_{zI}, M_{\theta R}, M_{\theta I}$ についてのみを示してある。特に $M_{\theta I}$ の影響が大きいことがわかる。フラッターモードの振動数 f に関しては、 $L_{\theta R}, L_{\theta I}, M_{zI}, M_{\theta R}$ の影響が大きいことがわかった。

4 結論

Theodorsen 関数と一般 Theodorsen 関数の間にはある程度差があり、フラッター解析により求めたフラッターモードの空力減衰値に差が生じることがわかった。橋梁のフラッター分岐経路等についてより正確な評価を行うためには一般 Theodorsen 関数を用いる必要があると考えられる。

参考文献 1) 松下洸：非圧縮流中の有限翼に対する空気力学伝達関数、航空宇宙技術研究所報告、1985年

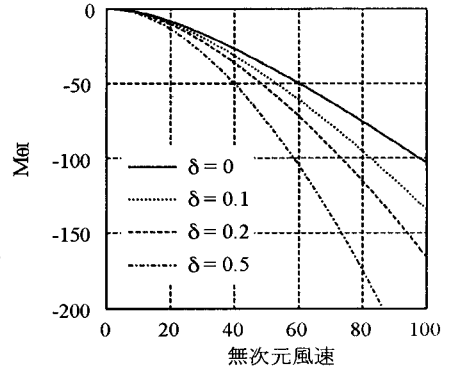


図3 非定常空気力係数 $M_{\theta I}$

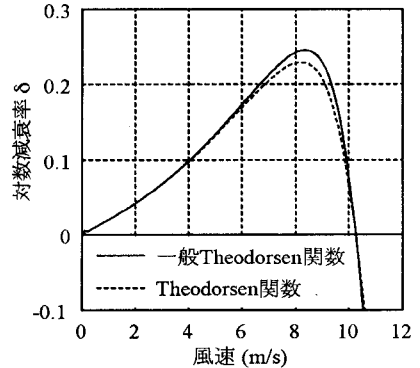


図4 風速－減衰率曲線

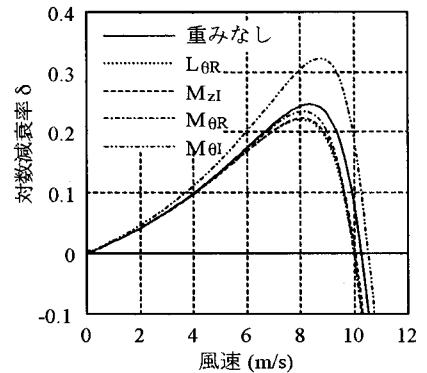


図5 係数に重みをかけたときの風速－減衰率曲線